Rapport final

Accord de contribution No 60,

Jumelage Éolien/Diesel à Haute Pénétration

OCTOBRE 1987

DIRECTION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

PRÉPARÉ POUR:
Direction des énergies renouvelables
Énergie, Mines et Ressources Canada
Ottawa Canada
Accord de contribution N° 60
OCTOBRE 1987

PRÉPARÉ PAR:

B. Saulnier et R. Reid
Service Mécanique, V.P. Recherche
V.P.E. Technologie et Affaires Internationales,
IREQ, C.P. 1000, Varennes
Qc, J0L 2P0

AUTORITÉ SCIENTIFIQUE:

Monique Carpentier
Programme de Recherche et Développement
en Matière d'Énergie Renouvelable
Énergie, Mines et Ressources Canada

TJ-W5
86-8000

Accord de contribution no. 60,
Programme de recherche et développement en matière d'énergie renouvelable, EM&R

Projet de Jumelage Éolien/Diesel à Haute Pénétration

• Remerciements

La collaboration de M. Benoit Dubé à ce travail a été essentielle et nous lui exprimons nos remerciements. Nous désirons aussi souligner la participation de MM. Marois, Vigneau et Martell, techniciens au service Mécanique de la Vice-Présidence Recherche, groupe T.A.I.

Le présent rapport est diffusé à titre documentaire uniquement. Il ne traduit pas nécessairement l'opinion du gouvernement du Canada et ne constitue une recommandation d'aucun produit commercial ou d'aucune personne. Ni le Canada, ni ses ministres, agents, employés ou mandataires ne donnent de garantie à l'égard du présent rapport et n'assument aucune responsabilité liée au présent rapport.

• Préface

Ce rapport final situe les résultats obtenus dans le cadre de l'accord de contribution No 60 par lequel l'IREQ agissait comme centre d'expertise dans le domaine du jumelage éolien-diesel. Les tâches que l'IREQ s'engageait à accomplir sont données à l'annexe 1.

Le mandat constitue un premier pas vers la réalisation d'un programme d'implantation par Hydro-Québec d'une technologie permettant de réduire de façon significative les coûts de production d'électricité dans les réseaux isolés existants. L'approche particulière que nous avons adoptée est celle dite du Jumelage-Éolien-Diesel-Haute-Pénétration-sans-stockage. Contrairement à d'autres méthodes d'intégration de l'énergie éolienne dans un réseau Diesel, notre approche donne la priorité aux éoliennes dans le bilan énergétique instantané d'un réseau. Le potentiel de marché de la technologie est estimé à environ 9 MW, pour la région de l'Ungava seulement.

• Résumé

Un compte-rendu des travaux est présenté selon les tâches prévues dans l'accord de collaboration # 60. La conception préliminaire du système de gestion et de régulation du scénario de jumelage éolien/diesel à haute pénétration est décrite. Du point de vue matériel, l'état d'avancement dans l'acquisition des composants est donné. Les plans d'interconnection des éléments du système sont prêts, un abri d'instrumentation est en place à côté de l'éolienne, l'installation électrique est commencée et les modifications au Diesel (embrayage de survitesse et régulateur électronique) sont terminées. Du point de vue instrumentation, les boîtes de mesurage de puissance sont complétées. L'installation des équipements expérimentaux devrait être complétée vers la fin du mois de novembre1987. Des problèmes d'approvisionnement, hors de notre contrôle, ont causé des retards par rapport à la date initialement prévue d'implantation du système expérimental. L'échéancier global du programme n'est cependant pas affecté. La campagne de collecte de données de Kuujjuaq est spécifiée et des discussions sont en cours avec la région Montmorency pour la marche à suivre quant à l'installation des capteurs et à la date de notre visite à Kuujjuaq. Des mesures devraient être prises au début de décembre 1987 au moyen d'un système d'acquisition portatif.

Table des Matières

- Remerciements ii
- Préface iii
- Résumé iv
- Table des Matières v
- Sommaire-Recommandations vi
- Executive summary vii

1. Introduction 1
2. Objectifs 2
3. Résultats 4
   - 3.1. Ingénierie de conception du système de commande et de régulation du jumelage éolien/diesel 4
     - 3.1.1. Éolienne 4
     - 3.1.2. Groupe Diesel 4
     - 3.1.3. Réseau simulé de 30 kW 4
     - 3.1.4. Charge dissipative 5
     - 3.1.5. Contrôleur SAFE-8000 5
   - 3.2. Installation et raccordement physique du système 5
     - 3.2.1 Modifications au groupe Diesel. 6
     - 3.2.2 SCR et Résistances 6
   - 3.3. Ingénierie préliminaire du système de commande et de régulation 7
     - 3.3.1 Stratégie de commande 7
     - 3.3.2 Système de régulation 10
   - 3.4. Spécification d'une campagne de données à Kuujjuaq 12
   - 3.5. Expertise et consultation externe 13
   - 3.6. Rapports d'étape 13
   - 3.7. Photographies et fiches techniques d'équipements 13
   - 3.8. Échéancier 14

- ANNEXE

- Sommaire-Recommandations

Ce projet constitue une première tâche visant à préparer le terrain pour le développement et la mise au point d'un système de commande et de régulation associé au scénario de jumelage éolien-diesel à haute pénétration sans stockage (JEDHPSS).

Au cours du présent projet, en réponse à l'appel d'offres RFP 48SZ SEDP/ 1987/1988, nous avons soumis une proposition constituant la suite logique de l'accord de contribution # 60. Cette proposition, intitulée: "Design and development of a control and regulation system for a high-penetration-no-storage-Wind/Diesel scenario" a été retenue par le comité de sélection des projets d'EM&R. Cette proposition discute des mérites techniques et économiques du scénario proposé et met en perspective l'ampleur du programme, financé principalement par Hydro-Québec. L'échéancier global du programme qui va jusqu'en 1994 y est décrit et plus particulièrement la phase critique au cours de laquelle se fera le développement du système de commande et de régulation. Cette activité, qui s'échelonne sur 3 ans (1987-1989) nécessite la participation financière de EM&R.

Les produits escomptés de ce projet sont un modèle expérimental réel du système JEDHPSS et un modèle mathématique validé qui permettra la conception et l'optimisation de systèmes adaptés aux caractéristiques particulières d'un réseau isolé.

- Executive summary

An account of the work completed in the "accord de collaboration # 60 " is presented.

The preliminary design of the regulation and control system for the high penetration no storage wind diesel scenario (HPNSWDS) is described. The status of the material procurement is given. interconnexion drawings of the system components are completed, an instrumentation shelter is installed beside the Darrieus wind generator, the electrical wiring is well advanced and the diesel genset modifications (overspeed clutch and electronic speed regulator) are completed.

On the instrumentation side, the power transducers panels are mounted and calibrated. Unexpected problems with the resistance and SCR supplier have caused procurement delays which will push the final installation date somewhat later than initially planned. However, the overall exerimental setup will be completed at the end of november 1987. The specification of the data collection campaign in Kuujjuaq is completed and discussions are presently held with representatives of Montmorency region of Hydro-Québec about the instrumentation setup and the time of our visit for that purpose. Measurements are planned for the beginning of December with a portable data acquisition system.

This project represents the first step in the preparation of the design and development of a control and regulation system for the high penetration no storage wind diesel scenario (HPNSWDS).

During the course of the present agreement, in response to DSS RFP 48SZ SEDP/ 1987/1988, we submitted a proposal that is in direct continuation to the "accord de contribution #60". This proposal entitled : "Design and development of a control and regulation system for a high-penetration-no-storage-Wind/Diesel scenario" was accepted for funding by the EM&R's SEDP selection committee.

This proposal presents the relative economical and technical merits of the proposed scenario and puts in perspective the extent of the overall program which is mostly financed by Hydro-Québec. The time schedule of this program which extends as far as 1994 is described in the proposal with particular emphasis on the critical phase where the control and regulation system will be developed. This proposal which covers a period

of three years (1987-1989) will require financial support from EM&R. The results of this study will be a real experimental system of the HPNSWDS and a validated numerical simulation model which will be a valuable tool in the design and optimization of wind/diesel sytems adapted to the particular chahacteristics of a given remote network.

1. Introduction

Les coûts de production d'électricité d'HQ dans les réseaux non-reliés (RNR) sont de:

- 20 @ 29 cents/kWh pour l'Ungava,
- 14 @ 15 cents/kWh pour la BCN,
- environ 9 cents/kWh aux îles de la Madeleine.

La demande d'énergie prévue en 1990-1991 pour les RNR du Nouveau-Québec seulement est de 47570 MWh . Ce chiffre exclut les RNR de la rive nord du St-Laurent et des îles de la Madeleine qui sont beaucoup plus importants.

L'intégration d'éoliennes pour réduire les frais d'opération et la consommation de carburant dans un réseau électrique diesel est une idée bien connue. Des simulations de couplage éolien Diesel ont montré que, en tenant compte des contraintes d'opération courantes d'un réseau diesel (réserve tournante minimum, niveau de charge minimum, stabilité), la pénétration d'éoliennes dans un réseau ne devrait pas excéder 35-40% de la demande de pointe du réseau. Au dessus de ce niveau, des éoliennes devraient être fermées. Ce scénario est très limitatif quant au pourcentage de puissance éolienne que l'on peut espérer intégrer à un réseau, puisqu'il considère l'éolienne comme un élément essentiellement nuisible aux groupes diesel.

Le scénario d'exploitation sur lequel se base le présent projet part d'un point de vue différent; La priorité est donnée à l'énergie éolienne et la demande totale du réseau peut, lorsque les vents sont suffisants être entièrement fournie par des éoliennes de fiabilité démontrée. Durant ces périodes, le moteur diesel peut être fermé (l'alternateur synchrone continue à fournir la puissance réactive nécessaire à l'aérogénérateur, puisqu'elle est reliée au diesel par l'intermédiaire d'un embrayage unidirectionnel). La stabilité du système est assurée par des charges distribuées asservies à la fréquence du réseau et la qualité d'électricité est maintenue.

Une analyse de sensibilité économique a montré que les facteurs d'influence prédominants dans ce scénario sont la vitesse moyenne annuelle du vent, la durée de vie de l'équipement et l'utilisation à des fins de chauffage de l'électricité rejetée par le réseau; viennent ensuite les

coûts d'entretien et de capital. Le taux d'accroissement de la population d'un village a une sensibilité moindre.

Une étude économique montre que pour la région de l'Ungava seulement, la valeur actualisée nette optimale de l'apport éolien correspond à une pénétration éolienne de 100 à 250% , la période de retour sur l'investissement étant de 11 à 15 ans. Dépendant du régime des vents de la région, 45 à 75% du pétrole actuellement utilisé pour la production d'électricité pourrait être économisé. Ainsi, 36 000 MWhr pourraient être annuellement produits par un parc d'éoliennes réparti dans les 13 villages de l'Ungava, totalisant environ 9 MW. La valeur actualisée nette totale d'un tel plan serait d'environ 12 millions de $.

Des résultats préliminaires nous ont indiqué que le système que nous proposons est stable. Cependant, comme ce travail fait partie des tâches prévues dans notre proposition intitulée "Design and development of a control and regulation system for a high-penetration-no-storage-wind/diesel scenario", il ne sera pas rapporté ici.

2. Objectifs

L'objectif du projet, aux fins de l'accord de contribution # 60 est de :

Préparer et réaliser les aménagements nécessaires au laboratoire éolien de l'IREQ de façon à pouvoir supporter le développement d'un système de commande et régulation permettant le jumelage éolien/diesel à haute pénétration.

Cet objectif s'inscrit dans un projet plus vaste qui a été décrit dans une proposition préparée en réponse à l'appel d'offres RFP 48SZ SEDP/ 1987/1988 et intitulée: "Design and development of a control and regulation system for a high-penetration-no-storage-Wind/Diesel scenario". Il représente les tâches 1 et 2 de la phase 2 de l'échéancier global (1985- 1994) du programme de jumelage éolien/diesel financé à 60% par Hydro-Québec. Les objectifs de ce programme d'activités sont les suivants:

- Réduire les coûts de génération d'électricité pour les réseaux non reliés (**RNR**).

- Développer un système de jumelage éolien diesel assurant la gestion de la production/utilisation de l'énergie de façon à optimiser la réduction des coûts d'exploitation des RNR.

- Concevoir et développer un système de commande et régulation qui permettrait le jumelage d'éoliennes à des diesels dans des réseaux non reliés de telle façon que:

  -le niveau de pénétration soit dicté par les paramètres économiques et non par une limite technique au dessus de laquelle les éoliennes nuisent aux diesels.

  - l'éolienne garde toujours la priorité de production. Lorsque le vent est assez fort pour alimenter toute la charge, le diesel doit être fermé.

- Développer une version nordique d'une éolienne éprouvée.

- Démontrer le système de jumelage éolien/diesel à pénétration* élevée dans un RNR.

- Permettre (ou participer à) la formation d'une entreprise Québecoise à risques partagés avec un fabricant d'éoliennes qui a dévéloppé une bonne réputation dans le domaine.

- Déclencher une activité manufacturière de 80M$ pour le Québec (12M$ pour l'Ungava, 18M$ pour la BCN, 36M$ pour les îles de la Madeleine). Les marchés canadiens et mondiaux sont très intéressants.

- Conseiller HQ dans l'application de la technologie développée dans les RNR.

* *Ce taux représente le rapport entre la puissance nominale de l'éolienne et la demande de pointe du réseau.*

3. Résultats

L'ordre des sections suivantes est basé sur les sept items contenus dans l'énoncé des travaux de l'accord de contribution au projet #60.

3.1. Ingénierie de conception du système de commande et de régulation du jumelage éolien/diesel

3.1.1. Éolienne;

L'éolienne choisie est évidemment l'éolienne existante de l'IREQ, soit une Indal Technologies de 50 kW, à axe vertical de 11,7 m de diamètre.

3.1.2. Groupe Diesel;

Parmi les trois groupes diesel qui auraient pu être disponibles à l'IREQ, nous avons choisi celui qui nous donnait la pénétration la plus élevée possible. Le diesel sera donc une unité autonome Ford/Onan de 30 kW, moteur diesel Ford et génératrice synchrone Onan.

L'unité a été modifiée par l'ajout d'un embrayage unidirectionnel pour permettre l'utilisation de la génératrice comme compensateur synchrone lorsque le moteur diesel sera fermé. Le gouverneur initialement mécanique a été remplacé par un gouverneur électronique pour améliorer la réponse en fréquence.

Le 30 kW du groupe électrogène représentera la charge maximale du réseau simulé. La combinaison du groupe électrogène et de l'éolienne donnera un potentiel de pénétration de :

Puissance éolienne installée / Demande maximale du réseau :
50 kW / 30 kW = 1.67

3.1.3. Réseau simulé de 30 kW

La demande simulée représentera les variations de demande d'un village sur une base d'une journée (24 heures). Elle sera contrôlé par un automate programmable et devra pouvoir être variée de 0 à 30 kW, soit la capacité maximale du diesel utilisé. Le réseau sera donc simulé par un banc de résistance pouvant atteindre une capacité de 30 kW. Pour

minimiser les coûts et améliorer les délais de livraison, les deux bancs de résistances pour la simulation du réseau et pour la charge dissipative sont identiques, soit des bancs de résistances de 50 kW.

3.1.4. Charge dissipative

La charge dissipative devra pouvoir absorber toute la puissance de l'éolienne, ce qui fixe sa capacité maximale à 50 kW, elle devra pouvoir être variée très rapidement pour absorber toute différence entre la demande et la production. Elle sera donc un banc de résistances variable de 0 à 50 kW, contrôlé par thyristors ayant un temps de réponse de l'ordre de 0.016 secondes.

3.1.5. Contrôleur SAFE-8000 ;

Cet automate programmable de fabrication canadienne sera acheté en raison de sa grande versatilité. C'est un appareil à microprocesseur qui peut contenir sur une mémoire résidente tout un ensemble d'instructions d'acquisition, de traitement et d'intervention, facilement programmable par l'utilisateur et permettant entre autres d'agir sur l'environnement auquel il est branché. Il peut ainsi réagir à des dépassements de valeurs, signaler des alarmes, contrôler des procédés via des boucles de régulation PID programmables. Il peut aussi agir comme acquisiteur de données programmable transmettant les informations (signaux analogiques et numériques) provenant d'un nombre de capteurs choisis par l'utilisateur à un ordinateur éloigné. Ses entrées/sorties sont analogiques ou/et numériques. Cet appareil servira entre autres à faire la régulation de la charge dissipative.

3.2. Installation et raccordement physique du système

À la date de rédaction de ce rapport, le montage du système expérimental n'est pas encore complété. Toutes les composantes sont commandées et, malgré des délais d'approvisionnement hors de notre contrôle, nous prévoyons que le raccordement des éléments du montage expérimental sera complété en décembre. Les livraisons en attente sont: les résistances et les variateurs de tension a thyristors. La section qui suit fait le point sur l'état du projet concernant les

éléments du système.

3.2.1 Modifications au groupe Diesel.

Le groupe Diesel que nous utilisons est une version non-standard pour laquelle les plans d'origine n'ont pas tous été retracés. Les plans des pièces d'interconnection de la génératrice au moteur permettant de faire la conception de l'embrayage de survitesse ont dû être refaits. Les nouvelles pièces permettant d'intégrer l'embrayage de survitesse entre le moteur et la génératrice ont été conçues et fabriquées pour cet ensemble seulement. Nous avons aussi remplacé le régulateur de vitesse mécanique du groupe initial par un régulateur électronique. Cette modification nous donnera une plus grande flexibilité (particulièrement au niveau du maintien de la fréquence et de l'ajustement du temps de réponse du moteur à une variation de puissance d'appel) dans la tenue des essais et rendra l'unité plus représentative des groupes que l'on retrouve dans les réseaux isolés.

L'assemblage du groupe modifié est présentement complété, il a été testé pour comparer son comportement à celui qu'il avait avant les modifications . Le groupe diesel est de retour sur le site des essais depuis le 9 novembre.

3.2.2 SCR et Résistances.

Le choix des bancs de résistances et de leurs circuits de convertisseurs (SCR) qui serviront de tampon et de simulation de réseau a été le sujet de longues discussions étant donné les prix très élevés proposés par les soumissionnaires appelés par le consultant. Nous avons proposé à notre consultant de nouveaux fournisseurs potentiels. Suite à cette nouvelle ronde d'appels d'offre, un nouveau fournisseur a été retenu. Là encore, pour des raisons en dehors de notre contrôle, des délais, qui ne nous ont été expliqués que tout récemment, ont empêché la livraison du matériel. Les représentants du fournisseur ont reconnu être responsables de ce retard . Ils nous ont assurés que le matériel serait livré à l'IREQ à la fin du mois de novembre.

3.3. Ingénierie préliminaire du système de commande et de régulation

Pour assurer la bonne marche du système proposé, on doit tenir compte de deux types de besoins :
- les besoins d'information sur les différents éléments de base qui permettront de prendre des décisions de gestion appropriées, à moyen et long terme, à l'intérieur d'une **stratégie de commande** établie, et
- un **système de régulation** qui agit de façon continue, et assure la stabilité dynamique de l'ensemble.

Ces deux niveaux de gestion sont décrits sommairement.

3.3.1 Stratégie de commande :

La stratégie de commande assure l'intégration harmonieuse des divers éléments du système dans toutes les conditions d'opération qui peuvent survenir. Le schéma suivant représente la puissance déversée dans la charge de réglage et servira à décrire les actions qui doivent être gérées par le système de commande.

Les conditions d'opération décrites sommairement dans les paragraphes suivants, sont de trois catégories :

A) Condition de vent fort.

Le vent est suffisant pour satisfaire toute la demande, incluant une marge de sécurité au moins égale au seuil minimum de la charge

dissipative :

$$P_{ÉOL} = P_{RÉS} + P_{DISS}$$

où :

$P_{ÉOL}$ = Puissance éolienne

$P_{RÉS}$ = Puissance demandée par le réseau

P_{DISS} = Excès de puissance envoyé à la charge dissipative, ou puissance déversée

- Le diesel est fermé. L'alternateur devient compensateur synchrone
- L'erreur de fréquence est compensée par la demande de la charge dissipative. La puissance dissipée par la charge de réglage compense la différence entre la demande totale et la production totale d'énergie, de façon à maintenir l'erreur de fréquence à l'intérieur des normes requises.

B) Condition de vent faible ou inexistant.

Le vent est insuffisant pour contribuer à l'alimentation du village :

$$P_{DIE} = P_{RÉS} + P_{DISS}$$

où :

P_{DIE} = Puissance du (des) diesel

- Le(s) diesel(s) répond(ent) à la demande
- La charge dissipative peut être présente

C) Condition de vent moyen.

Éolienne(s) et Diesel(s) se partagent l'alimentation du village; pour tenir compte des fluctuations dans la puissance éolienne et de la demande, une marge de sécurité d'alimentation (représentée par le seuil minimum de la charge dissipative) doit être maintenue. Cette marge de sécurité est une combinaison de réserve tournante et de résistance

dissipative que le système de gestion adapte selon le taux de pénétration moyen d'une période donnée.

$$P_{DIE} + P_{ÉOL} = P_{RÉS} + P_{DISS}$$

- Le niveau moyen de puissance de chacun de ces éléments est suivi. La stabilité du système est obtenue par des décisions de gestion appropriées qui font que le diesel ne fournit pas plus qu'un niveau de réserve dissipative maximum préétabli.
- Le diesel est toujours en marche.
- La charge dissipative est l'élément de stabilisation du système perturbé (perturbation = baisse ou hausse du vent, accroissement ou diminution de la demande, et toute combinaison de ces deux éléments, de même que le départ ou l'arrêt d'une éolienne ou d'un groupe diesel). C'est toujours elle qui est touchée la première en cas de perturbation. Deux cas sont possibles :

1) Le vent décroît :

La puissance éolienne captée décroît. Le système de gestion vérifie que la puissance déversée se trouve dans la zone de sûreté de la charge de réglage. Si elle est plus petite que le seuil minimum de sécurité, alors un diesel doit être démarré (à un niveau de charge supérieur à son niveau minimal recommandé). Deux possibilités d'opération existent :

i) Le diesel opère à puissance constante et les régulateurs agissent de façon à maintenir la fréquence du réseau. Du point de vue du bilan de puissance, cela revient à l'équation suivante:

$$\Delta P_{DISS} = \Delta P_{ÉOL} - \Delta P_{RÉS}$$

La charge dissipative équilibre la production et la demande. La puissance qu'elle consomme doit être au moins égale au seuil minimum de sécurité.

ii) La charge dissipative est fermée et le diesel agit de façon à ce que :

$$\Delta P_{DIES} = \Delta P_{ÉOL} - \Delta P_{RÉS}$$

Le Diesel équilibre la production et la demande. Dans ce cas, la réserve tournante doit être au moins égal au seuil minimum de sécurité de la charge dissipative.

2) Le vent augmente :

La puissance éolienne captée augmente. Le système de gestion vérifie que la puissance déversée se trouve dans la zone de sûreté de la charge de réglage. Si la puissance déversée est plus grande que le seuil maximum de sécurité, alors un diesel doit être fermé. Si tous les diesels sont arrêtés et qu'il est impossible d'utiliser toute l'énergie des éoliennes (cas de vent fort), un aérogénérateur doit être fermé.

3.3.2 Système de régulation

Afin de fixer les idées sur le comportement général du scénario proposé, nous avons représenté le système sous forme de blocs interreliés. Ce système simplifié servira à valider le principe même du scénario de Jumelage éolien-diesel à haute pénétration sans stockage. Le diagramme de la figure 1 illustre le jeu des différents paramètres intervenant dans le comportement dynamique du système proposé. Les paramètres identifiés sont les suivant:

- ΔP_{dem} Variation de la demande
- ΔP_e Variation de puissance de la machine asynchrone
- e_2 Perturbation, bilan de puissance (erreur)
- $\Delta \omega_s$ Variation de la fréquence du réseau (synchrone)
- Δg Variation de glissement
- $\Delta \omega_m$ Variation de la vitesse de rotation mécanique
- ΔT_a Variation du couple aérodynamique
- ΔT_e Variation du couple électrique de la machine asynchrone
- K_a Pente du couple aérodynamique moyen vs vitesse de rotation de la turbine autour de ω_m
- H_a Constante de temps de l'aérogénérateur
- K_e Pente du couple électrique vs vitesse de rotation autour de la valeur de glissement **g**
- K_ω Relation entre une variation de couple électrique et la variation de puissance $(= \omega_m)$

- H_d Constante de temps du Diesel
- S Opérateur de Laplace
- K_{dp} Gain proportionnel du régulateur Diesel
- K_{di} Gain intégral du régulateur Diesel
- K_{rp} Gain proportionnel du régulateur de la charge de réglage
- K_{ri} Gain intégral du régulateur de la charge de réglage
- K_f Pente de la variation de tension vs la variation de la fréquence du réseau
- ΔV Variation de tension du réseau
- K_c Variation de la demande du réseau résultant d'une variation de tension
- K_{rv} Variation de la puissance dissipée dans la charge de réglage résultant d'une variation de tension

Partant des conditions en régime permanent (toutes les variations sont nulles), examinons l'effet d'une variation positive de demande, ΔP_{dem}, sur le système ?

Le bilan de puissance est modifié et entraîne une perturbation, **e2**, qui résulte en une variation de fréquence, $\Delta\omega_s$, déterminée essentiellement par la constante de temps du diesel, H_d.

Considérons d'abord l'effet de $\Delta\omega_s$ sur l'aérogénérateur. Cette variation provoque une variation de glissement, Δg, qui amène directement une variation positive du couple électrique, ΔT_e . L'augmentation du couple électrique agit à deux niveaux: **i)** via K_ω, elle tend à rééquilibrer le bilan de puissance, et **ii)** via la constante de temps de la turbine, H_a, elle diminue la vitesse mécanique de la turbine. La variation de la vitesse mécanique, $\Delta\omega_m$, revient modifier le glissement de la machine asynchrone, de façon à atténuer la variation initiale.

Cette variation $\Delta\omega_m$ entraîne aussi une variation du couple aérodynamique, ΔT_a (régi dans ce modèle simplifié par la vitesse du vent et la vitesse de rotation de l' aérogénérateur), qui à son tour revient modifier la vitesse mécanique de l'aérogénérateur et donc le glissement. Il est important de noter que K_a étant beaucoup plus faible que K_e, l'effet d'une variation de la fréquence du réseau sur

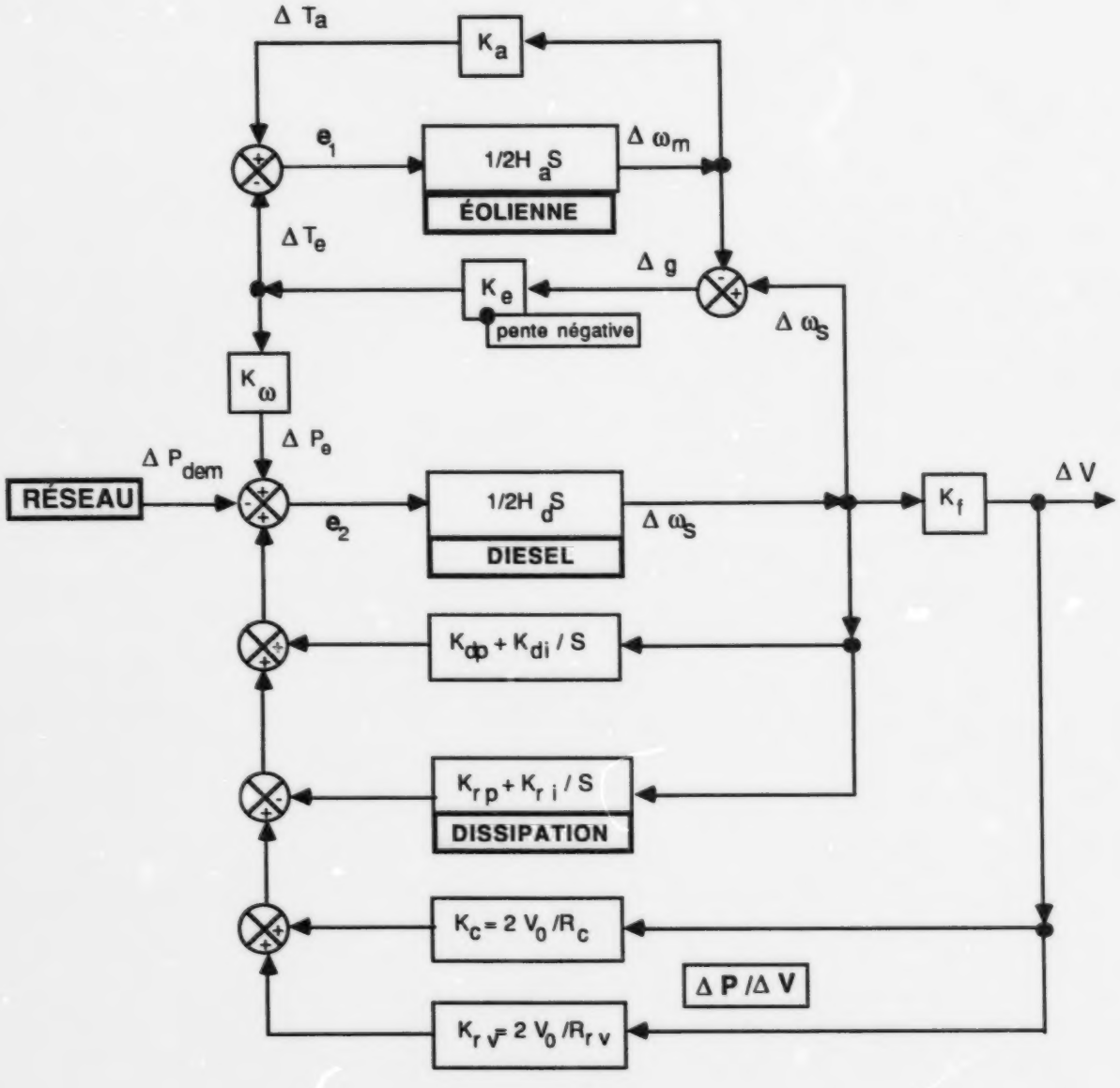


FIGURE 1 SCHÉMA DE LA RÉGULATION, JUMELAGE ÉOLIEN/DIESEL HAUTE PÉNÉTRATION

l'aérogénérateur est essentiellement amorti par les caractéristiques électriques de la machine asynchrone et fait de l'aérogénérateur un système dynamiquement stable.

$\Delta\omega_s$ agit aussi à trois autres niveaux: **i)** sur la tension du réseau, à travers le régulateur de tension de la machine synchrone, **ii)** sur la puissance du diesel, à travers les caractéristiques K_{dp} et K_{di} de son régulateur de vitesse et **iii)** sur la puissance appelée par la charge de réglage, à travers les caractéristiques K_{rp} et K_{ri} de son régulateur dont dépend la stabilité dynamique de tout le système. La variation de la tension du réseau, ΔV, a un effet direct et instantané sur les puissances d'appel du réseau et de la charge de réglage. Ces quatre derniers effets combinés entraînent une modification du bilan de puissance qui tend à réduire l'amplitude de la perturbation, **e2**, au niveau du diesel et assurent la stabilité du système global.

Ce système sera modélisé et étudié de façon plus détaillée dans le cadre du prochain mandat de travail. La fonction de transfert du système sera exprimée comme la variation de fréquence du réseau résultant d'une variation de la demande du réseau, $\Delta\omega_s/\Delta P_{dem}$. Il s'agira alors de déterminer quelles sont les valeurs des paramètres des régulateurs qui permettent d'obtenir une stabilité dynamique du scénario proposé (réponse temporelle et réponse fréquentielle).

3.4. Spécification d'une campagne de données à Kuujjuaq

La campagne de collecte de données de Kuujjuaq est spécifiée et des discussions sont en cours avec le Siège Social d'Hydro-Québec et la région Montmorency pour la marche à suivre quant à l'installation des capteurs et à la date de notre visite à Kuujjuaq.

Les mesures qui seront prises sont:
- les tensions et les courants sur une phase du réseau ,
- les puissances active et réactive totales,
- les puissances active et réactive totales sur une artère,
- la fréquence du réseau,
- la puissance produite par l'éolienne installée à Kuujjuaq.

Ces paramètres seront mesurés pour identifier les caractéristiques

dynamiques du réseau: acquisition rapide à court terme (lors des fortes variations quotidiennes du réseau le matin et à l'heure du souper) et acquisition lente pendant toute la journée.

Comme cette opération ne se fera pas sur une base continue, les mesures seront prises en utilisant principalement les capteurs déjà installés pour le suivi d'exploitation de la région Montmorency. Nous prévoyons prendre une première série de mesures au début du mois de décembre.

3.5. Expertise et consultation externe

Tout au long du projet, le personnel chargé de réaliser le contenu de l'entente a participé à divers comités d'évaluation de projets canadiens d'importance reliés à l'énergie éolienne:
- Bernard Saulnier a siégé sur le conseil d'administration de l'Atlantic Wind Test Site, I.P.E.
- Réal Reid est membre du comité d'évaluation du projet de Fort Severn (Association canadienne de l'Électricité, Ontario Hydro, Ministère de l'Énergie de l'Ontario) dans la Baie d"Hudson.
- Participation et diffusion des travaux effectués dans le cadre de l'accord aux congrès de l'association canadienne de l'Énergie Éolienne(CanWEA), et de l'American Wind Energy Association (AWEA)
- Support technique à des groupes ou individus intéressés à l'énergie éolienne : Technical University of Nova Scotia, Brace Research Institute.

3.6. Rapports d'étape

Un rapport d'avancement du projet a été produit en août 1987.

3.7. Photographies et fiches techniques d'équipements.

L'éolienne, l'abri d'instrumentation et les modifications du groupe diesel sont les seuls éléments pour lesquels nous avons des documents photographiques. Les photos de ces différents éléments sont présentées en annexe. On y trouvera aussi les fiches techniques des contrôleurs à thyristors des éléments résistifs..

3.8. Échéancier

L'échéancier prévu accuse un retard significatif par rapport à la date de fin financière de l'accord de contribution EM&R/HQ No 60 (31 mars 1987). En particulier, les éléments suivants expliquent les raisons qui ont empêché de compléter les travaux énoncés dans cet accord.

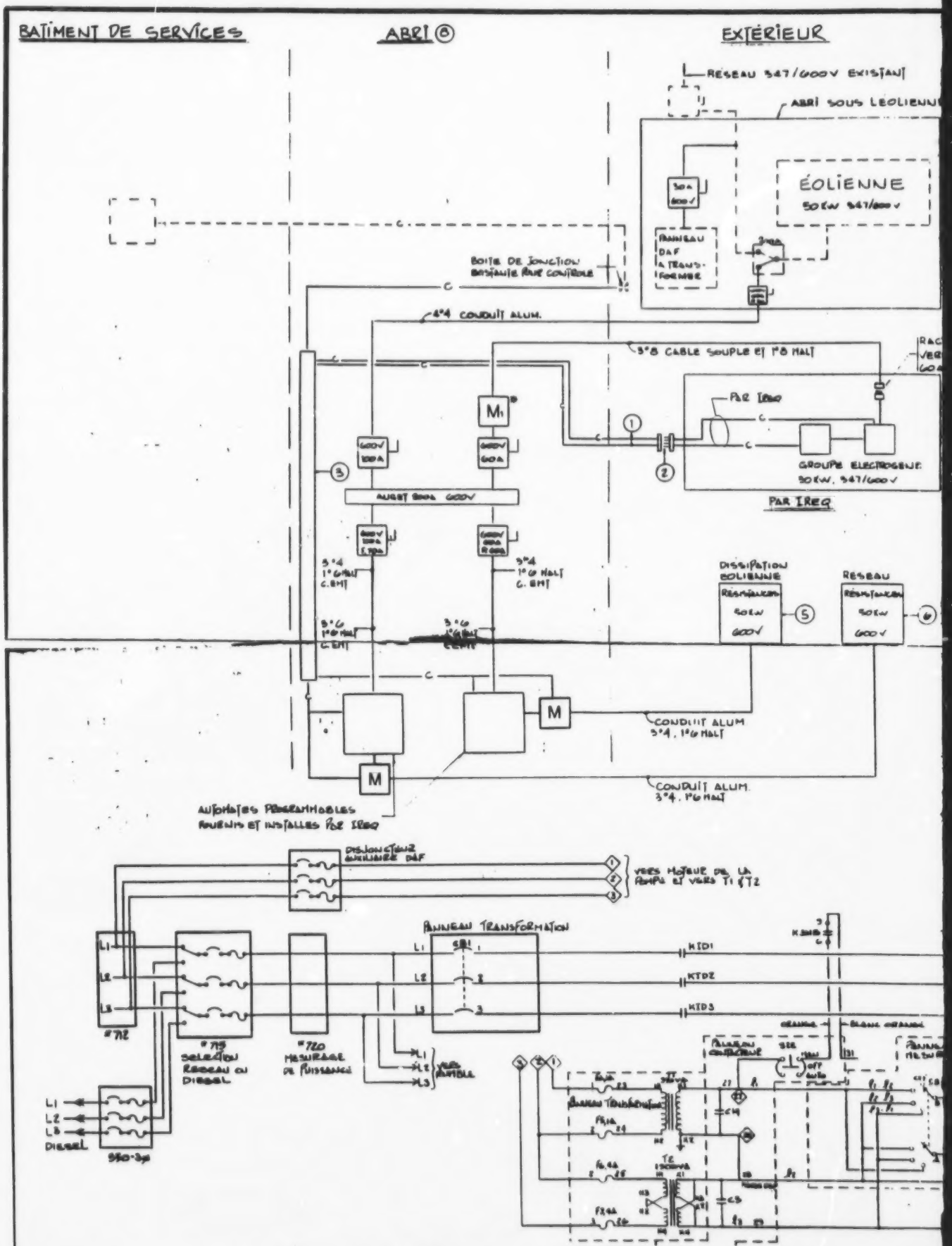
Depuis 1985, Hydro-Québec a entrepris une restructuration majeure qui touche toutes ses unités administratives. Dans ce contexte, toutes les activités de recherche à l'IREQ ont été réévaluées. C'est ainsi que le mandat et l'orientation des activités de l'ex-service Éoliennes ont été considérablement remodelés pour refléter les nouvelles priorités de l'entreprise. Les services Éoliennes et Mécanique des Lignes et Vibration ont été fusionnés en un seul service Mécanique. En particulier le personnel technique affecté aux éoliennes a dû réorienter ses efforts vers le domaine des turbines hydrauliques. L'impact direct de ces changements fut la réduction du personnel technique disponible pour les projets éoliens (principalement le projet de démonstration de Kuujjuaq et le projet discuté ici), et ce, malgré le fait que la justification économique du projet de Jumelage Éolien/Diesel à Haute Pénétration soit reconnue et supportée à HQ. Nous travaillons donc avec des consultants en effectuant un transfert technologique.

Cette situation a comme répercussion que les installations expérimentales prévues dans le cadre du projet ne pourront être opérationnelles avant la fin de novembre 1987.

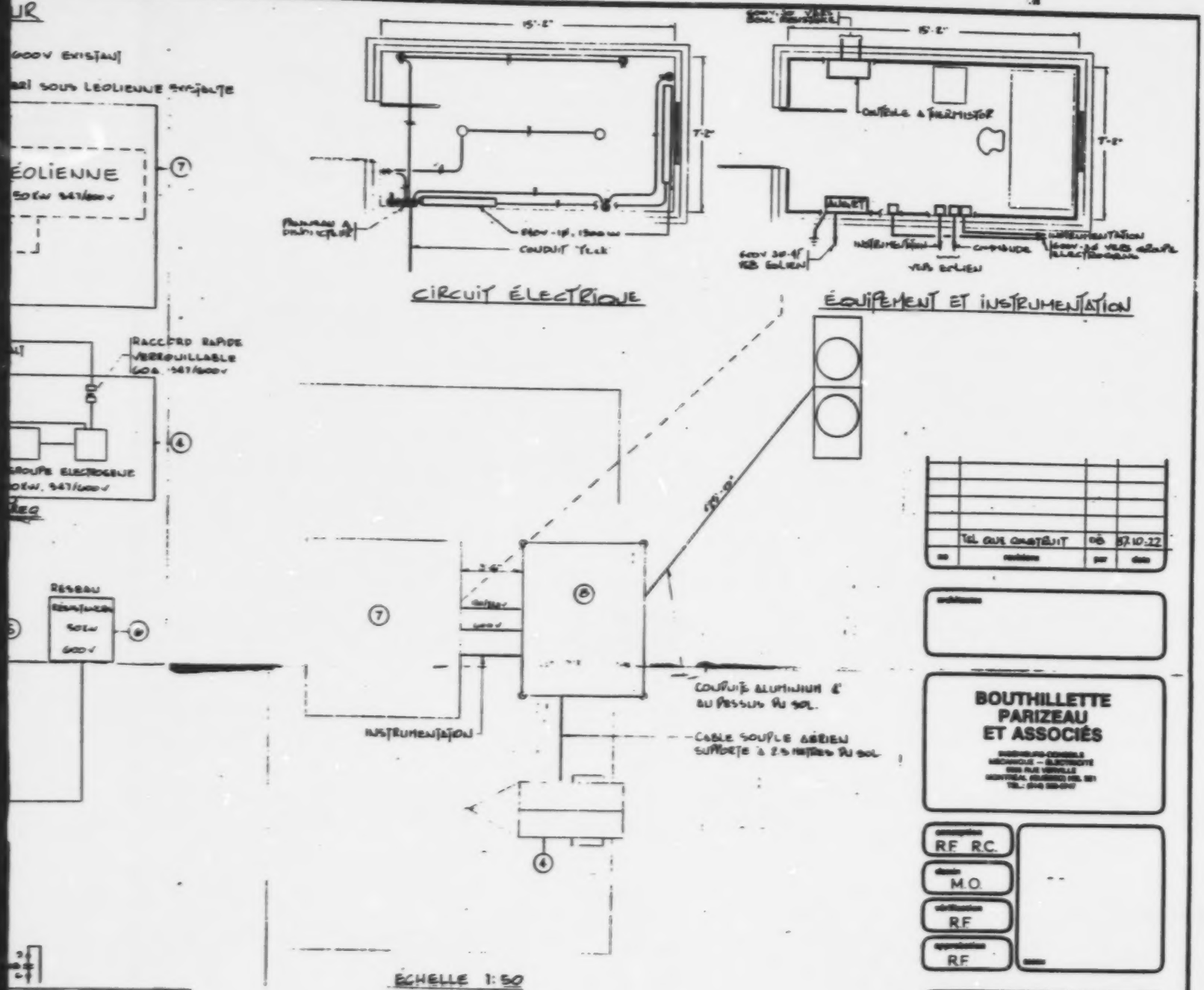
ANNEXE

PHOTOGRAPHIES ET

FICHES TECHNIQUES D'EQUIPEMENTS.



MODIFICATIONS ÉLECTRIQUE POUR ÉOLIENNE-DIESEL



	TEL QUE CONSTRUIT	DB	87.10.22
no	révisions	par	date

BOUTHILLETTE PARIZEAU ET ASSOCIÉS

RF RC

M.O

RF

RF

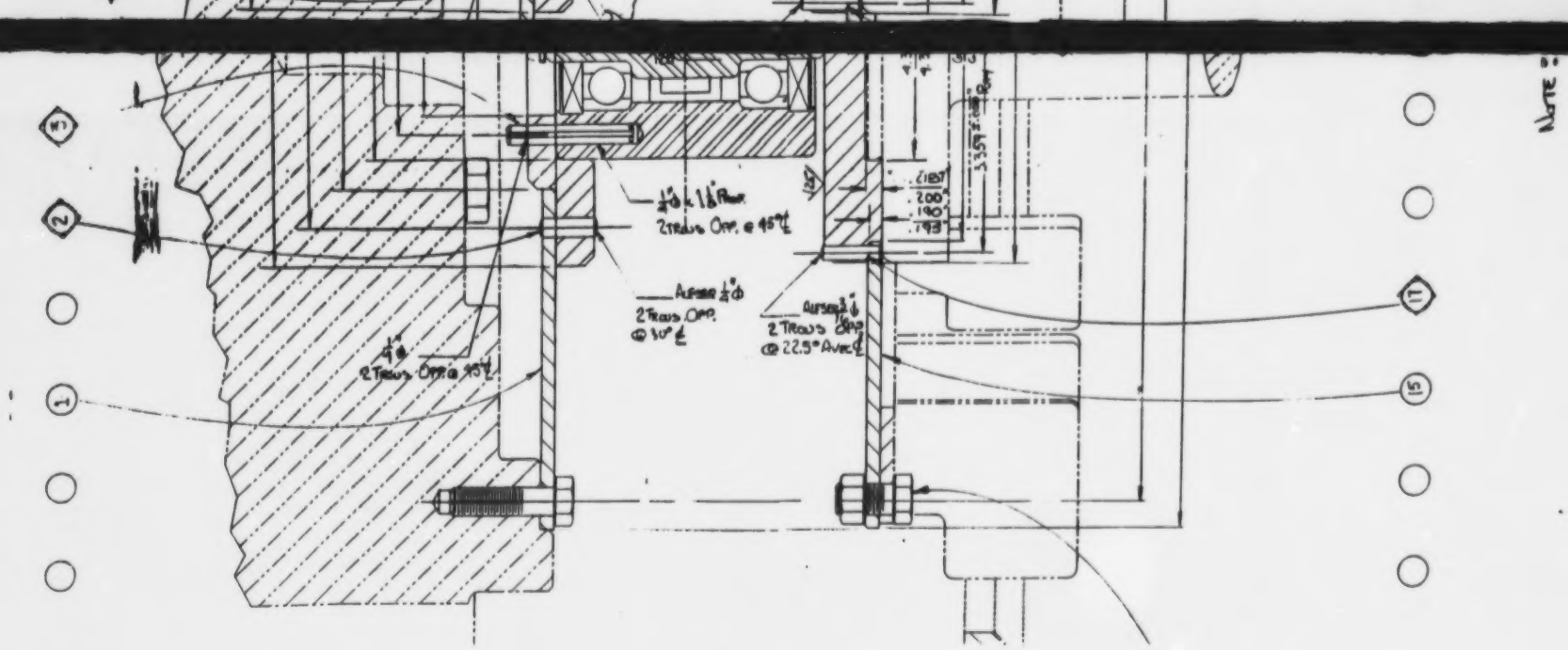
IREQ
JUMELAGE ÉOLIEN-DIESEL NORDIQUE

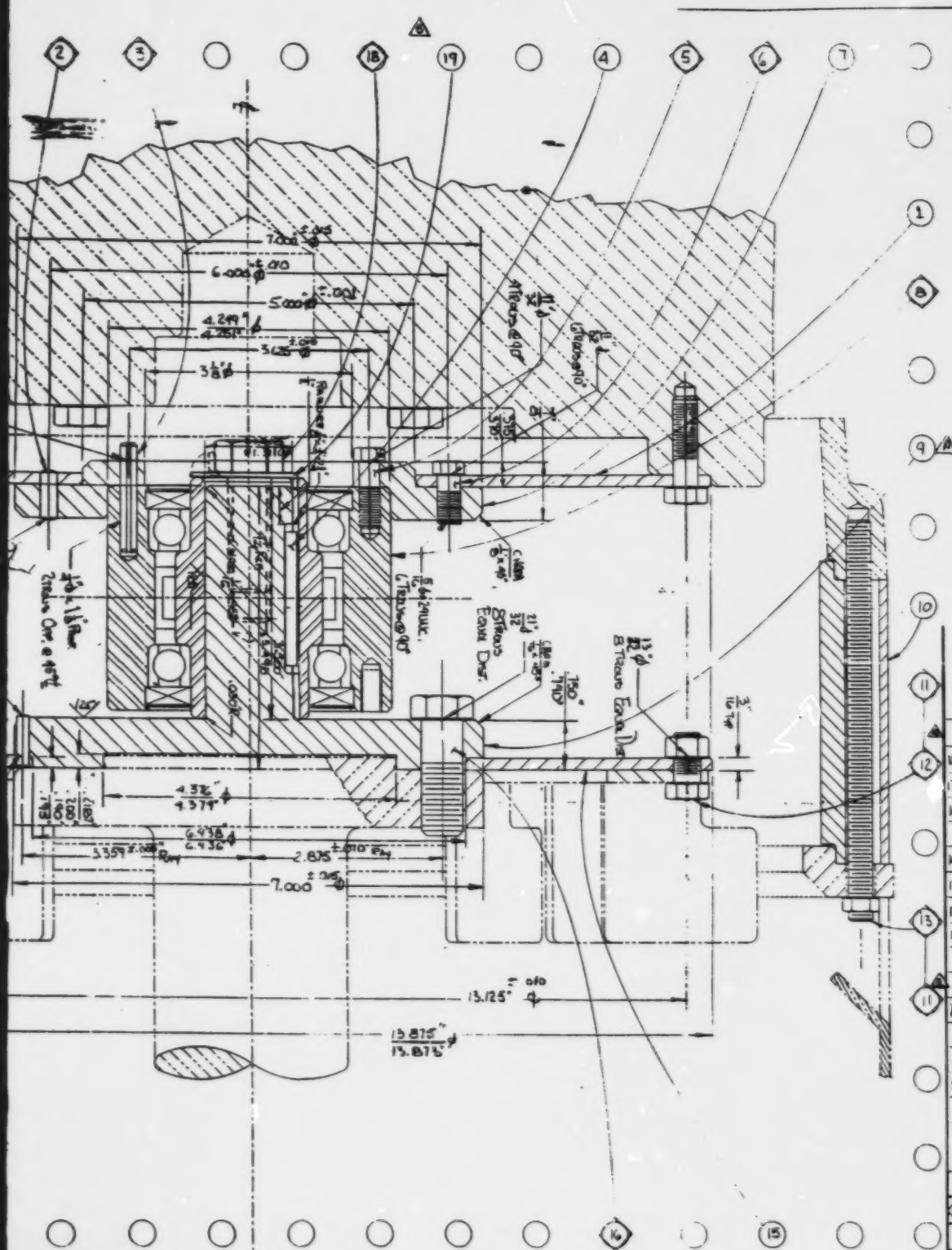
ÉLECTRICITÉ

AMÉNAGEMENT DU RÉSEAU ÉLECTRIQUE

87-03-19 | INDIQUÉE

87-602 | E-1


1"ϕ x 1½" Prof.
2 Trous Opp. @ 45°℄
Aléser 1"ϕ
2 Trous Opp.
@ 30°℄
Aléser 1"ϕ
2 Trous Opp.
@ 22.5° Avec ℄
4"ϕ
2 Trous Opp. @ 45°℄
2100
2000
1990
1993
3359
313
188
1357
Note:



REVISIONS				
	DESCRIPTION	DATE	DESS	VER.
A	Mat'l Ch. to 40 Etait C-1018	91/4/11	Rm	RP
B	Add Items 18 & 19	92/06/12	RM	RP

19	Rondelle Blocage 5/8 ϕ	1	AISI-C1020	
18	Boulon Hex ϕ 5/8 x 1 3/4	1	STD	
17	Goupille (Dowel) 1/4 x 3/4 Lg	2	STD	
16	Boulon Hex 5/16 x 1 1/4	8	STD	
15	Disque 13 3/8 ϕ x 3/16 Ep	1	HRS. A36	
14	—			
13	Boulon Stud 3/8 x 1 1/2 Lg	8	STD	
12	Boulon Hex 3/8 x 1 3/4 Lg	8	STD	
11	Ecrous 3/8 x 16 UNC	16	STD	
10	Adapteur	1	122-1-363	
9	Arbre Interne	1	AISI C-4140	
8	Joint Uni Direction	1	Form Sprag Model: FSO 900	
7	Soucoupe 7 1/2 x 3/16	1	AISI C-1018	
6	Boulon Hex 5/16 x 24 x 3/4 Lg	6	STD	
5	Boulon Hex 5/8 x 24 x 1 Lg	1	STD	
4	Clef 1/4 D x 2 1/4 Lg	1	HRS	
3	Goupille (Str) 1/4 x 1 1/2 Lg	2	STD	
2	Goupille (Str) 1/4 x 1 1/2 Lg	2	STD	
1	Tige de Piston	2	AISI 1144	
⚠	DESCRIPTION	Qte	MATERIEL	

BORDEREAU

Smithmiletic Industries R & D
Jean Jacques Martineau
6070 Rue Iberville
Montreal Qc H2S 2E1

(514) 273-7741

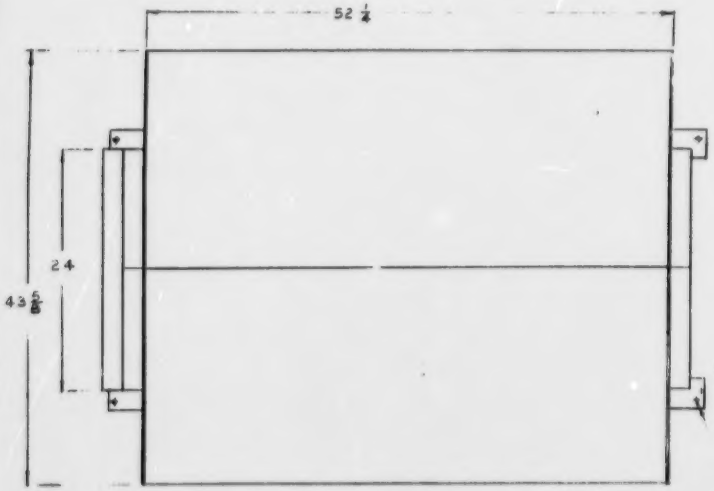
BON DE COMMANDE		NO PALIER	
AUTORISÉ PAR	DATE	DESSINÉ PAR	DATE
ACCEPTÉ PAR	DATE	VÉRIFIÉ PAR	DATE

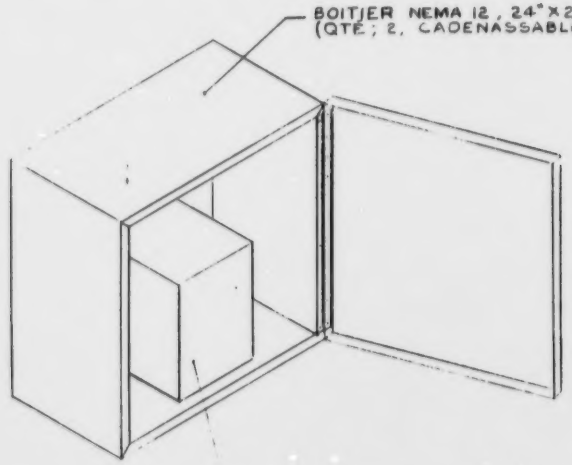
NOTE : 1.- Peinturer Toutes Surfaces Libres
2.- Balancer l'Assemblée Dans Le Plan Radial A 1 Oz-Po Approx
3.- Boulons Doivent Etre Retenus Avec Du Loctite

SCEAU

TOLERANCES		
SAUF AVIS CONTRAIRE		
MILLIMÈTRES	FRAC	DEC
0.000 - 0.999	1/64	± .002
1.000 - 4.999	1/32	± .005
5.000 - 9.999	1/16	± .010

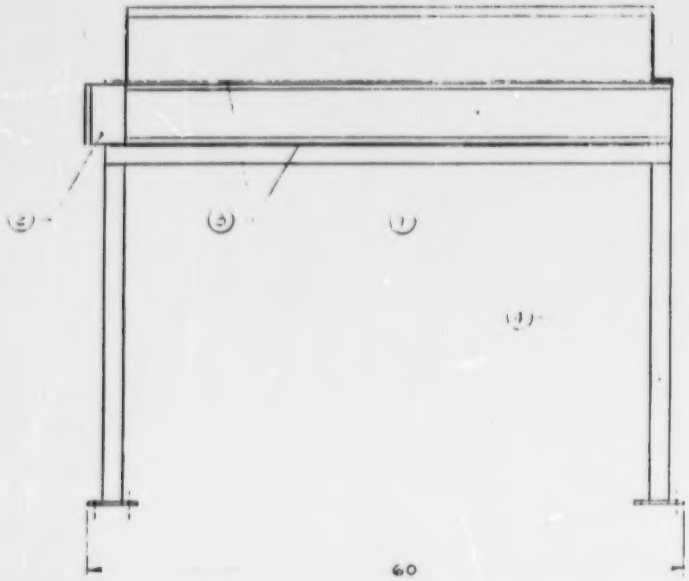
DIM	ÉCH	FINITION	REV
1/2"	1:2	Réalisé Par Kerrel.	
NO RÉFÉRENCE	REV	NO DESSIN	REV
—		122-1-[illegible]	[illegible]
NOM DU CLIENT	IREQ		

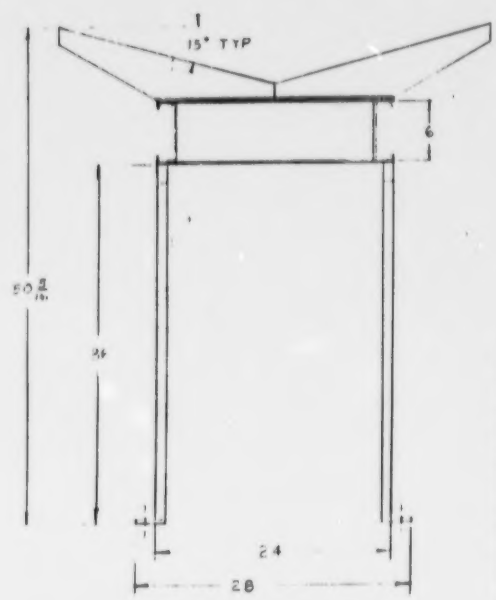




- 1/8" TROUS/PATTE

SCR SYNCHRONE 3 Ø # LB7H5A 2G00910 (1er BOITIER)
CONTRÔLE 3Ø, PHASE ANGLE # FB7H5A2G08105 (2ième BOITIER)





BOUTHILLETTE PARIZEAU ET ASSOCIÉS
11 DEC. 1987
REÇU

#	DESCRIPTION	QTÉ
1	TOIT	1
2	SUPPORT	1
3	GRILLE DE PROTECTION	2
4	PANNEAU NEMA 4	1
5	BOITE DE RÉSISTANCE	1

MODÈLE	PYRADIA INC 430 GUIMOND LONGUEUIL QUE
DESS J. LARTUBISE	CLIENT IREQ
APPR	TITRE BANC DE RÉSISTANCES
DATE 10/11/87	
TOL	
FCH	NO DESS FII86-1 REV

MAGNETICS®
A Division of Spang and Company

INDUSTRIAL CONTROL DEVICES

BULLETIN ICD-PB-602A
Supersedes ICD-PB-602

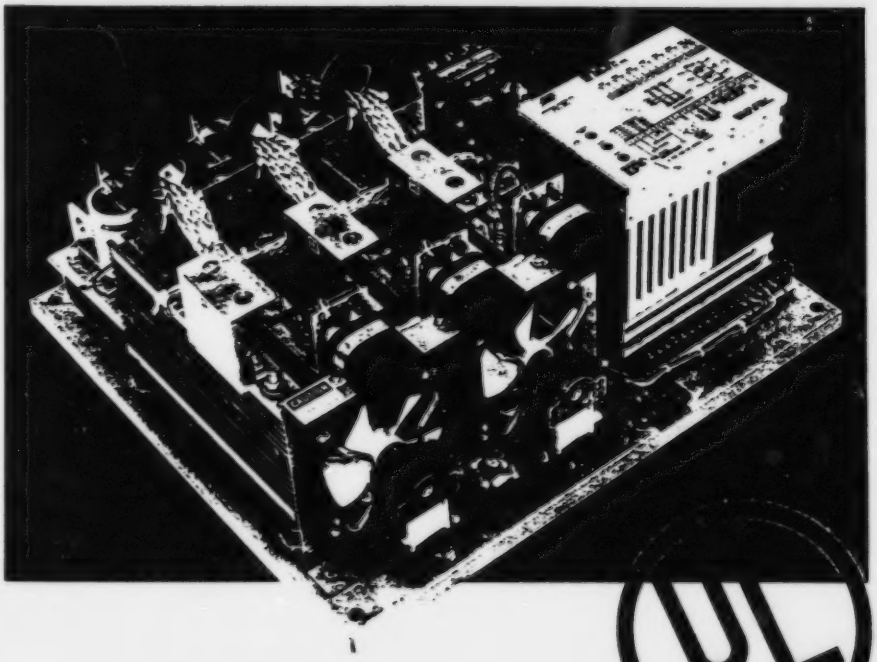
Guy Perreault
Pyradia
463-3344.

THREE PHASE SCR Power Control Units

Phase Angle Control for Industrial Control Applications

Magnetics Power Control Units for three phase applications are available either with phase angle control or with synchronous firing control of the SCR's. Synchronous firing PCU's are normally applied to control static loads, such as resistive heating elements (nichrome), which are not affected by age or drastic change in resistance versus temperature. Synchronous firing Power Control Units are described in Bulletin ICD-PB-601.

This bulletin describes phase angle PCU's used primarily to control dynamic resistive, or transformer-coupled loads.



UL®

HIGH RELIABILITY UNITS FEATURING

- Electronic design with active integrated circuit networks
- LED indication of proper phase rotation
- Phase lock loop for firing pulse synchronization
- Firing modules consisting of plug-in printed circuit cards
- Six SCR full converter or three SCR semi-converter configurations
- Standard ratings designed for 50°C maximum ambient
- Stepless control for proportional electric power
- Immunity to line distortions and fluctuations

General Description

The phase angle firing circuit used in the Magnetics Power Control Units is a new field-proven design incorporating modern electronic hardware for producing electrical pulses to the gates of the SCR's. Built into the devices are CMOS integrated circuits (both analog and digital), operational amplifiers, and phase lock loop circuitry, all of which assure that power line distortions (harmonics, sags, surges, etc.) will not affect the firing of the SCR's. These Power Control Units have exceptional stability, reliability, and versatility, plus the availability of options which can be tailored to specific applications. The modular firing circuit package contains three plug-in printed circuit cards with all the electronic circuitry required to perform the control function of any application.

Magnetics manufactures two types of three phase, phase angle fired Power Control Units: three SCR semiconverter configurations and six SCR full converter configurations. The semiconverter uses an SCR and a diode connected inverse parallel in each line to the load (Figure 1). The full converter uses two (2) SCR's connected inverse parallel in each line to the load (Figure 2).

The semiconverter (Type HB), using fewer SCR devices, is more economical and is sufficient for many control applications. Three phase loads may be either three wire Delta or Wye connected. If control is required to a four wire grounded neutral Wye load, the full converter (Type FB) is compulsory. For transformer coupled loads and Scott-T transformer connections, the full converter is also recommended.

Advantages of Phase Angle Firing:

- Conventional voltmeters and ammeters can be used for instrumentation over 0 to 100% voltage range.
- Infinitely variable output.
- Operation into dynamic loads (i.e., transformers).

Specifications for Phase Angle Control

Input voltage: Ratings are provided for 480, 240, and 208 volt, three phase, 60 hertz lines.

Ambient: All ratings are designed for 50°C maximum operating temperature. For operation at higher temperatures (to 65°C maximum), some derating is necessary; please consult factory.

Input signals: 0-5, 1-5, 2-12, 4-20, 10-50ma inputs or a manual potentiometer (all standard temperature controller outputs). See chart below.

Adjustments: **a.** Gain adjustments provide full output for 50% to 200% standard control signal.

b. Bias adjustment for manual control to 100% output.

Voltage protection: **a.** Transient voltage suppression is provided by metal oxide varistors (MOV's) which clamp high voltage spikes to within the PRV rating of the semiconductors.

b. Standard PRV ratings for 480 volt units are 1200 volts and for 240 and 208 volt units are 800 volts. Higher PRV ratings are available for specialized applications.

Reference supply: A 10 Volt DC regulated reference supply is available from the firing circuit for connection to a remote potentiometer, from which the Power Control Unit can be controlled manually. This supply is regulated to within ± ½% for line voltage variations. Maximum current rating from this reference source is 10 milliamperes.

Cooling: **a.** Current sizes 15 and 30 amperes are convection cooled.

b. Current sizes from 60 to 1300 amperes are forced-air cooled by integral cooling fans. Bimetallic temperature switches are supplied on all forced-air cooled units with one NO contact wired to a terminal block from each SCR heat sink. As an alternate, normally closed contacts are available on request.

Options Available

1. Current Limit senses RMS current in all three lines (phases) and limits output to the highest of the three. Current limit adjustment is from 5% to over 100% of rating by a potentiometer in the firing circuit.

2. Voltage Regulation adds RMS voltage feedback to the standard model. Voltage regulation is ±1% for line voltage excursions of +10%, −15% of nominal. This option also improves control linearity to ±1% from 0 to 100% output.

3. Current Regulation compensates for both line and load fluctuations and provides a constant RMS current proportional to the control signal. Current regulation is ±1% of set point.

4. Watt Regulation is accomplished by addition of voltage and current feedback into a three phase watt transducer. Output wattage can be regulated to ±1% of set point. Common applications are in control of silicon carbide heating loads.

5. Fast Gate Shut-Off is an electronic turn-off of the gate firing pulses within 8.33 milliseconds (1/2 cycle at 60 Hz) by sensing an overcurrent condition and applying the shut-off signal to the firing circuit. For most applications where this is to be used (e.g., protection against short circuits or load faults) external current limiting impedance must be added to insure protection of the power SCR's. Consult the factory for advice on this coordination.

6. NEMA 1 Wall Mounted Enclosures are available for housing the respective Power Control Units. The enclosure features #14 gauge steel construction finished with ASA-61 light gray enamel. Ventilation is provided through expanded metal openings at the bottom and sides of the enclosure. Conduit entrance can be through the top, bottom or lower sides as required. The access door is hinged with a locking handle.

7. Combinations of the above listed options — Refer to page 4 for possible option combinations and corresponding ordering part number.

8. Special Options — Custom options such as pilot lights, meters, circuit breaker additions, water cooling, separate firing circuit assembly, and others are available. Please contact the factory for description, pricing, and advice on your custom requirements.

Schematic Drawings of Power Control Units

Three Phase — Three SCR, 3 Diode (Semiconverter)

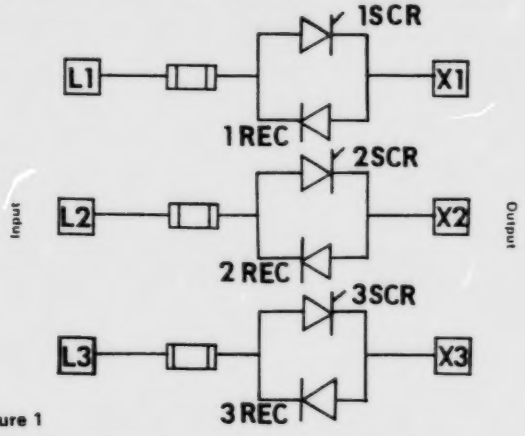


Figure 1

Three Phase — Six SCR (Full converter)

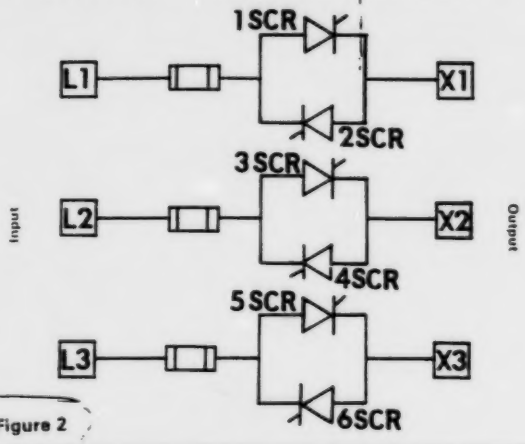


Figure 2

Electrical Features

1. Upon initial circuit energization, there is a 4 second dead time for circuit stabilization during which time the SCR gate pulses are inhibited.
2. The firing circuit inherently includes a 3-4 second built-in soft start and Transformer Inrush Protection (TIP) feature.
3. The time response and ramp eliminates output overshoot, preventing damaging excessive currents into dynamic loads on either start-up or response to step function control signals.
4. Firing pulses between phases and complementary pairs are balanced within ±2 electrical degrees.
5. Output control parameters of current, voltage, or power are tightly regulated and linearly responsive to input signal (±1%) with use of feedback options.
6. Gate output pulses from the firing circuit are inhibited during power start-up (turn-on), momentary power interruption and reversed phase sequence.
7. The firing circuit provides a high frequency pulse train with a rise time of 300 nanoseconds to the SCR gates.

Mechanical Features

1. The unit uses a plug-in card rack assembly with three plug-in printed circuit cards and one receptacle board.
2. Electrical connections are made on screw-type terminal blocks.
3. Card pullers (extractors) are provided as an inherent feature on each plug-in board.
4. Bias, Gain, and Current Limit adjustments are accomplished through standard 20 turn potentiometers easily accessible through the top cover plate.
5. Information for input/output connections, control adjustments and input impedance are readily available on the top cover plate.
6. Diagnostic proper phase rotation is indicated with a light emitting diode (LED).

Phase Angle Firing Control

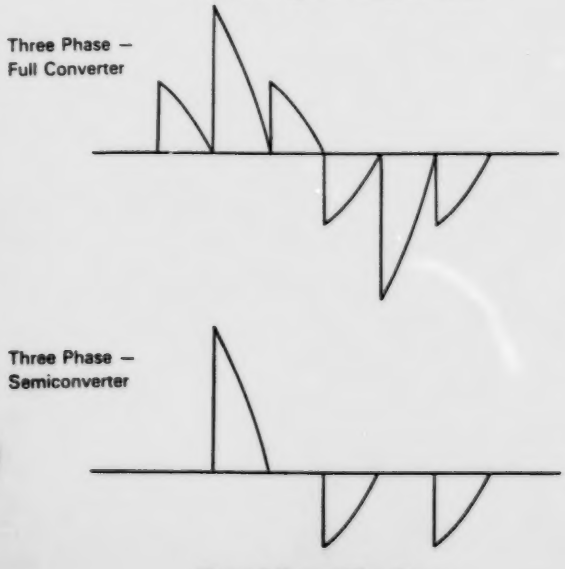


Figure 3 Output Waveforms

Control Connections

DC Control Signal	Input Control Terminal Points	Input Impedance
0-5 ma	1 (+)-5 (−)	1000 ohms
2-12 ma	2 (+)-5 (−)	400 ohms
4-20 ma	3 (+)-5 (−)	250 ohms
10-50 ma	4 (+)-5 (−)	100 ohms
0-10 v	7 (+)-5 (−)	200K ohms
Contact Closure	6 and 7	
Manual Control:		
Ends of Pot	6 and 8	Connect a 10K ohm
Slider of Pot	7	2 watt potentiometer.
Lockout (External shutdown contact)	6 and 17	

Ordering Information

3 Phase Power Control Units—AC Output

F.: 6 SCR full converter
H.: 3 SCR, 3 diode semiconverter

C: 208V Line
D: 240V Line
G: 480V Line

5: Open Chassis
6: NEMA I enclosure**

Size Code

B _ _ _ _ _

6: 50 Hz
7: 60 Hz

2: Basic unit
*4: Overcurrent shut down (OC)
*6: Watt regulation (WR)
*7: OC & WR
8: Voltage regulation (VR)
*9: VR & OC
A: Current regulation (CR)
*B: CR & OC
C: Voltage limit (VL)
*D: VL & OC

A: Basic unit (no options)
B: Current limit (CL)

*PCU's with these options must be tailored to individual requirements; consult factory before ordering. An additional 10" is required in height dimension for both chassis and NEMA I enclosures.

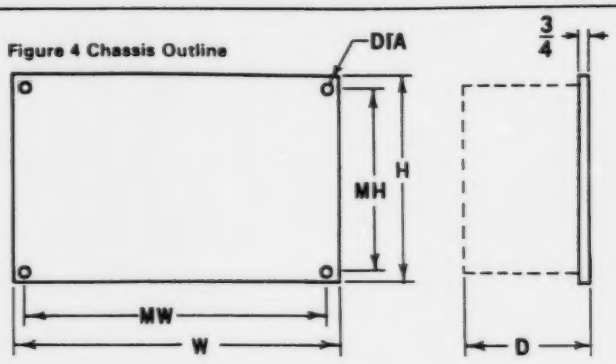
Instruction and operating manuals are provided on each Power Control Unit order. When multiple manual copies are required, they can be supplied at extra cost.

For standard terms and conditions of sale refer to Bulletin ICD-SP-100

Terminal Locations

Control terminals are at lower right of all units. Power terminals are located with line terminals at the top left, and load terminals at the lower left.

Figure 4 Chassis Outline



Ratings and Chassis Dimensions (inches)

Size Code	Current Rating AC Amps	KVA Rating 208V	240V	480V	Refer to Figure 4 H	W	D	MH	MW	DIA
1508	15	5.4	6.24	12.5	16	14	10	15	13	3/8
3008	30	10.8	12.5	25.0	16	14	10	15	13	3/8
6008	60	21.6	25.0	50.0	18	14	10	17	13	3/8
9008	90	32.4	37.4	75.0	18	14	10	17	13	3/8
1118	110	39.6	45.7	91.4	20	22	12	18½	20½	½
1518	150	54	62	125	20	22	12	18½	20½	½
2518	250	90	104	208	20	22	12	18½	20½	½
3518	350	125	145	290	20	22	12	18½	20½	½
4518	450	162	187	374	20	22	12	18½	20½	½
6018	600	216	250	500	20	24	12	18½	22½	½
8018	800	288	332	665	26	36	15	24½	34½	½
1028	1000	360	416	832	26	36	15	24½	34½	½
1328	1300	468	540	1080	42	37	24	40½	35½	½

**NEMA 1 enclosures are available. For the above current sizes, dimensions (inches) are as follows:

Size	H	W	D
1508 thru 9008	26	17	12
1118 thru 1518	30	25	14
2518 thru 6018	42	27	14
8018 thru 1028	52	39	16
1328***	76	44	30

***This size uses a free standing, floor mounted cabinet; all others are wall mounted.

GUY PERREAULT
PYRADIA
463-3344

MAGNETICS®
A Division of Spang and Company

POWER CONTROL DIVISION
Sandy Lake, Pa. 16145, Phone: (412) 376-7515 TWX: 510-461-3334

• Dry Type Transformers • Static Electrical Power Conversion Equipment • Solid State Devices • Utility Control Boards

© 1985 Magnetics
All Rights Reserved
Printed in USA

MAGNETICS®
A Division of Spang and Company

INDUSTRIAL CONTROL DEVICES

BULLETIN ICD-PB-601A
PRODUCT BULLETIN

Supersedes Bulletin ICD-PB-601 dated January 1979

Synchronous Control

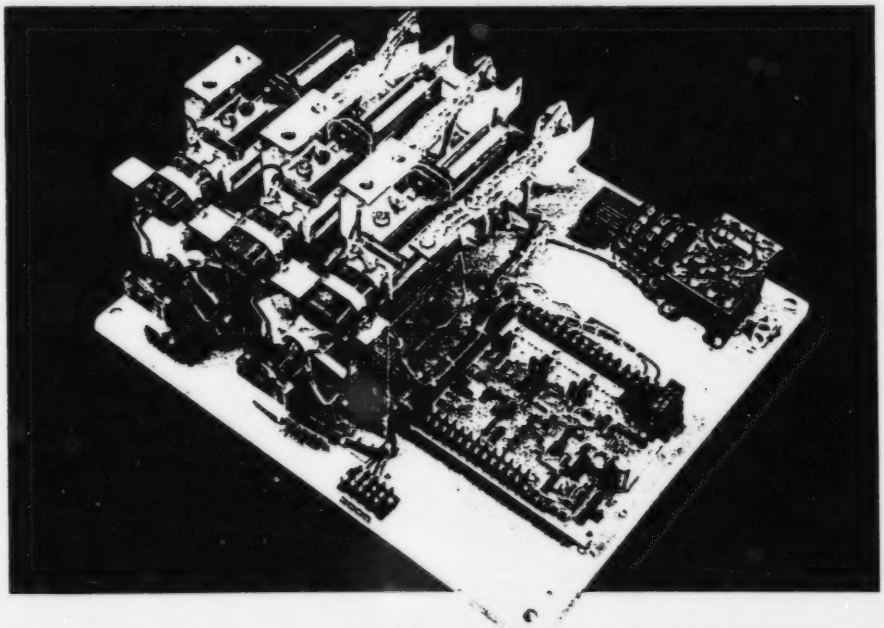
SINGLE and THREE PHASE SCR Power Control Units

for Industrial Heating Applications

600 V

MAGNETICS® Power Control Units are available either with phase angle control or with synchronous firing control of the SCRs. Phase angle PCUs are normally applied to control dynamic resistive, or transformer-coupled heating element loads.

This bulletin describes synchronous firing PCUs used primarily to control static loads, such as resistive heating elements (nichrome), which are not affected by age or drastic change in resistance versus temperature.



HIGH RELIABILITY UNITS FEATURING

- 3 Ø conventional 3 leg control and economical 2 leg control
- Fused third leg on 2 leg control
- LED indication of proper phase rotation on 3 phase units
- Variable ratio synchronous control
- Stepless control for proportional electric power
- Units accept all standard control signals
- Electronic design with active integrated circuit networks
- Phase lock loop for firing pulse synchronization
- Immunity to line distortions and fluctuations
- Standard ratings designed for 50°C maximum ambient
- LED indication of firing

General Description

Magnetics manufactures three types of synchronous Power Control Units: (a) a single phase version uses two SCRs connected inverse parallel in one line, and the other line is connected directly to the load (Figure 3); (b) the three phase version is designed in two types: two and three leg control (Figures 1 and 2).

Three leg control uses an SCR and a diode connected inverse parallel in each line to the load, (Figure 1). Two leg control uses two (2) SCRs connected inverse parallel in two of the three lines to the load, (Figure 2). Two leg control uses fewer power components and is more economical. Three phase loads may be either three wire Delta or Wye connected. If control is required to a four wire grounded neutral Wye load, it is recommended to use a three leg, six SCR Power Control Unit. These are available upon request.

Advantages of Variable Frequency Synchronous Firing:

- Conventional voltmeters and ammeters can be used for instrumentation at 50% to 100% voltage range.
- Infinitely variable output.
- Elimination of RFI.
- Power is distributed evenly over time.

Theory of Variable Frequency Synchronous Control

Synchronous firing control of thyristors is important for many types of heating and static contactor applications. Other names by which it is known are: Zero Voltage Firing, Zero Angle Firing, Burst Firing, Zero Point Switching, and RFI-less Control. With synchronous firing, the SCRs are used as switches that turn on and off at zero voltage crossover to control complete cycles of power; hence, the voltage being applied to the load is either zero or full line value (Figure 4). With MAGNETICS variable frequency control, power is proportioned by controlling the cycles of power ON versus the cycles of power OFF at a variable ratio. Control is accomplished at a cycling rate which achieves the smoothest, most continuous required output power. For example, very low output is 1 cycle ON and 100 cycles OFF (Figure 4). A slightly greater control signal gives 1 cycle ON and 30 cycles OFF. Power output of 50% typically provides control of 1 cycle ON and 1 cycle OFF. Greater percentage power output is achieved typically as 3 cycles ON and 2 cycles OFF (60% power) or 6 cycles ON and 1 cycle OFF (86% power). Full output is continuous conduction. For this type of control, a variable time base is used instead of a constant fixed time base for the cycle ON-OFF switching.

Specifications for Synchronous Control

Input Voltage: Ratings are provided for 575, 480, 380, 277, 240, 208, and 120 volt, single or three phase, 50 or 60 Hertz lines.

Ambient: All ratings are designed for 50° C maximum operating temperature. For operation at higher temperatures (to 65° C maximum), some derating is necessary; please consult factory.

Input signals: 0-5, 1-5, 2-12, 4-20, 10-50ma inputs or a manual potentiometer (all standard temperature controller outputs). See chart below.

Adjustments: a. Gain adjustments provide full output for 50% to 200% standard control signal.
b. Bias adjustment for manual control to 100% output.

Linearity: Output versus control signal is ± 10% full scale. For ± 1% see regulation options.

Voltage protection: a. Transient voltage suppression is provided by metal oxide varistors (MOV's) which clamp high voltage spikes to within the PRV rating of the semiconductors.

b. Standard PRV ratings:
Units 380 volts & above — 1200 volts
Units 277 volts & below — 800 volts
Higher PRV ratings are available for specialized applications.

Reference supply: A 15 Volt DC regulated reference supply is available from the firing circuit for connection to a remote potentiometer, from which the Power Control Unit can be controlled manually. This supply is regulated to within ± ½% for line voltage variations. Maximum current rating from this reference source is 20 milliamperes.

Cooling: a. Current sizes 15, 30, and 60 amperes single phase, 15 and 30 amperes three phase are convection cooled.
b. Larger current sizes are forced-air cooled by integral cooling fans. Bimetallic temperature switches are supplied on all forced-air cooled units with one normally open (NO) contact wired to a terminal block from each SCR heat sink. As an alternate, normally closed (NC) are available on request.

Options Available

Current limit senses the RMS current and limits the output to an average value over a varying period of time.

Voltage limit senses the RMS voltage and limits the output to an average value over a varying period of time. Voltage limit adjustment is from 50% to 100% of the line voltage by a potentiometer in the firing circuit.

Voltage regulation adds RMS voltage feedback to the standard model. Voltage regulation is ±1% for line voltage excursions of +10%, -15% of nominal. This option also improves control linearity to ±1% from 0 to 100% output.

Current regulation compensates for both line and load fluctuations and provides an output current proportional to the control signal. Current regulation is ±1% of full scale.

NEMA 1 Wall Mounted Enclosures are available for housing the respective Power Control Units. The enclosure features #14 gauge steel construction finished with ASA-61 light gray enamel. Ventilation is provided through expanded metal openings at the bottom and sides of the enclosure. Conduit entrance can be through the top, bottom or lower sides as required. The access door is hinged with a locking handle.

Schematic Drawings of Power Control Units

Three Phase - Three Leg Control

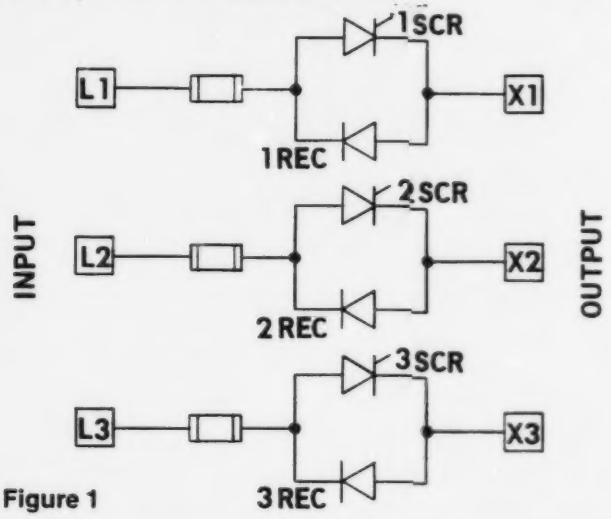


Figure 1

Three Phase - Two Leg Control

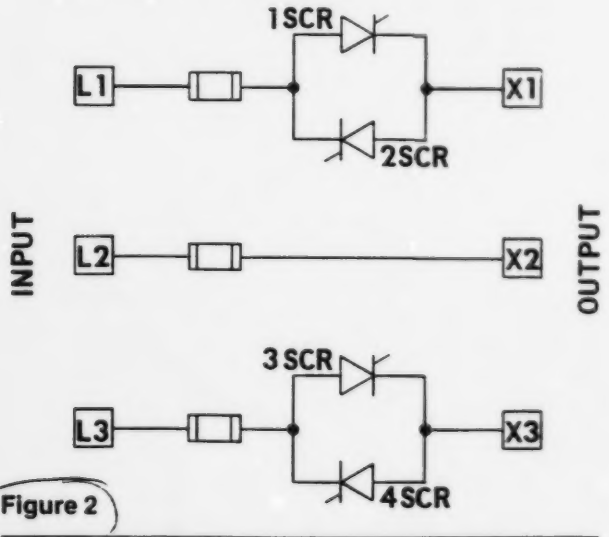


Figure 2

Single Phase Control

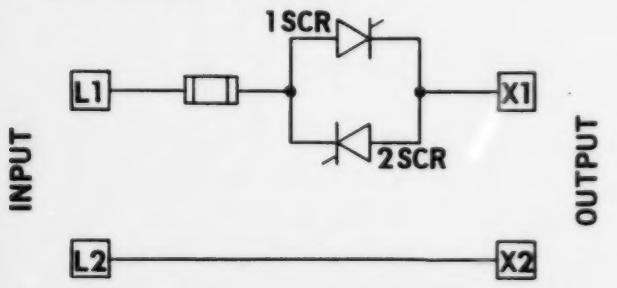
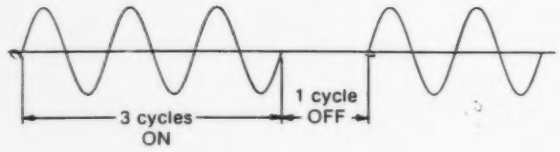


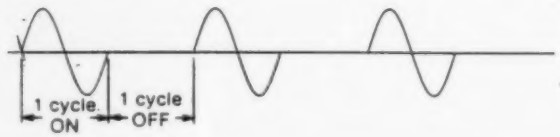
Figure 3

Variable Frequency
Synchronous Firing Control

75% Power Output



50% Power Output



Control Connections

DC Control Signal	Input Control Terminal Points	Input Impedance
0-5 ma	1 (+)-5 (-)	1000 ohms
2-12 ma	2 (+)-5 (-)	400 ohms
4-20 ma	3 (+)-5 (-)	250 ohms
10-50 ma	4 (+)-5 (-)	100 ohms
0-10 v	7 (+)-5 (-)	200K ohms
Contact Closure	6 and 7	
Manual Control:		
Ends of Pot	6 and 8	Connect a 10K ohm
Slider of Pot	7	2 watt potentiometer.
Lockout (External shudown contact)	8 and 9	

Mechanical Features

(1) LED indication of firing provided.
(2) Electrical control connections are made on screw-type terminal blocks.
(3) Isolated semiconductor power blocks are used on smaller current ratings.
(4) Bias, gain and limit adjustments are accomplished through standard 20 turn potentiometers.
(5) Rugged metal backplate with all components easily accessible.

Electrical Features

(1) Control from 0 to 100% of line voltage
(2) LED indication of phase sequence and phase loss on three phase units with an electrical lockout during abnormal conditions.
(3) All three lines are fused on 2-leg synchronous units.

Ordering Information

Part Number Code

K: Synchronous firing (3 leg control and single phase)
L: Synchronous firing (2 leg control)

E: 120V Line
C: 208V Line
D: 240V Line
J: 277V Line
F: 380V Line
G: 480V Line
H: 575V Line

5: Open Chassis
6: NEMA I enclosure**

Size Code

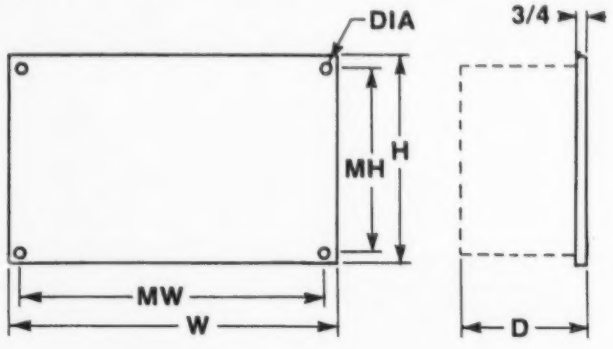
B _ _ _ – – _ _ _ _

6: 50 Hz (3Ø)
7: 60 Hz (3Ø)
1: 50 Hz (1Ø)
2: 60 Hz (1Ø)

2: Basic unit
8: Voltage regulation (VR)
A: Current regulation (CR)
C: Voltage limit (VL)

A: Basic unit (no options)
B: Current limit (CL)

Figure 5 Chassis Outline



Instruction and operating manuals are provided on each Power Control Unit order. When multiple manual copies are required, they can be supplied at extra cost.

Terminal Locations
Control terminals are at lower right of all units. Power terminals are located with line terminals at the top left, and load terminals at the lower left.

For standard terms and conditions of sale refer to Bulletin ICD-SP-100

3Ø Ratings and Chassis Dimensions (inches)

Size Code	Current Rating AC Amps	KVA Rating 208V	240V	480V	Refer to Figure 5 H	W	D	MH	MW	DIA
1509	15	5.4	6.24	12.5	16	14	10	15	13	⅜
3009	30	10.8	12.5	25.0	16	14	10	15	13	⅜
6009	60	21.6	25.0	50.0	18	14	10	17	13	⅜
9009	90	32.4	37.4	75.0	18	14	10	17	13	⅜
1119	110	39.6	45.7	91.4	20	22	12	18½	20½	½
1519	150	54	62	125	20	22	12	18½	20½	½
2519	250	90	104	208	20	22	12	18½	20½	½
3519	350	125	145	290	20	22	12	18½	20½	½
4519	450	162	187	374	20	22	12	18½	20½	½
6019	600	216	250	500	20	24	12	18½	22½	½
8019	800	288	332	665	26	36	15	24½	34½	½
1029	1000	360	416	832	26	36	15	24½	34½	½
1329	1300	468	540	1080	42	37	24	40½	35½	½

**3Ø NEMA 1 enclosures are available. For the above current sizes, dimensions (inches) are as follows:

Size	H	W	D
1509 thru 9009	26	17	12
1119 thru 1519	30	25	14
2519 thru 6019	42	27	14
8019 thru 1029	52	39	16
1329***	76	44	30

***This size uses a free standing, floor mounted cabinet; all others are wall mounted.

1Ø Ratings and Chassis Dimensions (inches)

Size Code	Current Rating AC Amps	KVA Rating 120V	240V	480V	Refer to Figure 5 H	W	D	MH	MW	DIA
1508	15	1.8	3.6	7.2	14	12	10	13	11	⅜
3008	30	3.6	7.2	14.4	14	12	10	13	11	⅜
6008	60	7.2	14.4	28.8	14	14	10	13	13	⅜
1118	110	13.2	26.4	53	14	14	10	13	13	⅜
1718	175	21	42	84	16	15	10	15	14	⅜
2518	250	30	60	120	20	15	12	18½	13½	½
4018	400	48	96	192	20	15	12	18½	13½	½
5018	500	60	120	240	20	15	12	18½	13½	½
6018	600	72	144	288	20	15	12	18½	13½	½

**1Ø NEMA 1 enclosures are available. For the above current sizes, dimensions (inches) are as follows:

Size	H	W	D
1508 thru 3008	22	15	12
6008 thru 1118	26	17	12
1718	30	18	14
2518 thru 6018	42	18	14

MAGNETICS
A Division of Spang and Company

POWER CONTROL DIVISION
Sandy Lake, Pa. 16145, Phone: (412) 376-7515 TWX: 510-461-3334
•Dry Type Transformers •Static Electrical Power Conversion Equipment •Solid State Devices •Utility Control Boards

© 1993 Magnetics. All Rights Reserved. Printed in USA